

[54] シリカフュームを用いた高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性

正会員 〇田沢雄二郎 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 信田 佳延 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 石井 明俊 (鹿島建設技術研究所)

1. はじめに

北極海域において供用が計画されている石油掘削・生産用の海洋コンクリート構造物は、氷海域という苛酷な環境条件においても耐久性を失わないことが必要である。同時に、設計上、高強度が要求されること、及び、曳航の観点から構造物自体が軽量であることが要求されるため、高強度・高耐久性を有する軽量コンクリートが必要である。一方、強度増進、耐久性向上の観点から、超微粒活性シリカ質粉末(シリカフューム)の海洋コンクリート用混和材としての利用が注目されており、既に北欧・北米等では、シリカフュームを実施工に用いた例も見られている。

本報文は、高耐久性(耐凍結融解性)が要求される海洋コンクリート構造物を対象に実施した、シリカフューム及び低吸水量骨材を用いた高強度軽量コンクリートの物性試験結果について、耐凍結融解性に関する検討を中心に、フレッシュコンクリートの性状、強度発現等を報告するものである。

2. 実験方法

(1) 実験要因と水準

実験要因と水準は、以下のとおりである。

- a. 軽量骨材の種類(造粒型2種類, 非造粒型1種類)
- b. 軽量骨材の含水率(約5~20%)
- c. シリカフュームの添加率(0及び10%)

(2) 使用材料

実験に使用した材料を表-1に示す。ここで、軽量骨材を所定の含水状態に調整するため、原則として絶乾状態の骨材に吸水(水浸あるいは加圧吸水)を行った。ただし、加圧吸水によっても所定の含水率に達しないものについては、あらかじめ、骨材の製造過程で含水率を調整した骨材を用いた。調整後の軽量骨材の比重・含水率は表-2に示すとおりである。

シリカフュームは、外国産のものを使用した。代表的特性は表-3に示すとおりである。なお、練り混ぜにあたり、シリカフュームは粉体のまま使用した。

また、コンクリートの配合が、富配合・低水セメント比となることから、高性能減水剤を使用するとともに、実施工時におけるワーカビリティ確保の観点から流動化剤を用いた。

(3) コンクリートの配合

設計基準強度が500kgf/cm²程度の高強度コンクリートを対象に表-4に示す配合を用いた。スランブは、ベースコンクリートで10±2.5cm、流動化コン

表-1 使用材料

材 料	摘 要
セメント	普通ポルトランドセメント、比重=3.14
水	水道水
細骨材	富士川産川砂、比重=2.63、FM=2.87
粗骨材	A骨材 造粒型、絶乾比重=1.28、FM=6.31
	B骨材 造粒型、絶乾比重=1.26、FM=6.43
	C骨材 非造粒型、絶乾比重=1.28、FM=6.40
混和材	シリカフューム(外国産)、比重=2.20
混和剤	AE減水剤 リグニンスルホン酸塩とポリオール複合体
	AE助剤 変性ロジン酸塩
	高性能減水剤 高縮合芳香族スルホン酸塩
	流動化剤 メラミンスルホン酸塩系複合物

表-2 軽量骨材の比重・含水率

CaO (%)	0.2
SiO ₂ (%)	93.1
Al ₂ O ₃ (%)	0.1
MgO (%)	0.5
Fe ₂ O ₃ (%)	0.1
K ₂ O (%)	0.16
Na ₂ O (%)	0.07
Total C (%)	0.21
強熱減量 (%)	1.0
比表面積(N ₂ 法)(m ² /g)	25.2
平均粒径 (μm)	0.15

表-3 シリカフュームの組成

骨材の種類	形状	比 重	含水率(%)
A	造粒型	1.30	6.2
		1.40	10.0
		1.52	17.8
B	造粒型	1.40	11.8
		1.45	16.6
		1.53	20.4
C	非造粒型	1.30	4.7
		1.37	11.4
		1.47	17.1

表-4 コンクリートの配合

最大骨材寸法 Gmax (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	水結合材比 W/C+SF (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)									
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	シリカフューム SF	減水剤×(C+SF)(%)				
15	ベース 10±2.5 流動化 18±2.5	5±1	31	28	36	150	482	589	522~606	54	0.25	AE減水剤	AE助剤	高性能減水剤	流動化剤
			28	28	36	150	536	596	529~613	—	0.25	AE減水剤	AE助剤	高性能減水剤	流動化剤

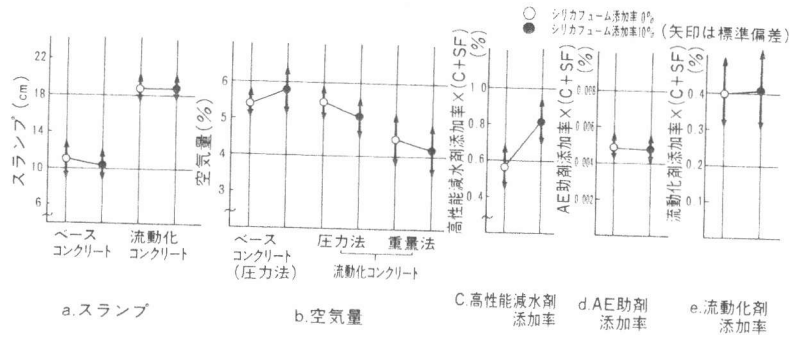


図-1 フレッシュコンクリートの性状と混和剤添加率

クリートで 18 ± 2.5 cm, また, 空気量は $5 \pm 1\%$ を目標として混和剤の添加率を調整した。

(4) 練り混ぜ及び試験項目

練り混ぜは, 空練り (30秒, セメント+骨材+シリカフューム) → 加水 (水+AE減水剤+AE助剤+高性能減水剤) → 練り混ぜ (120秒) → ベースコンクリートの物性測定 → 流動化剤添加 → 練り混ぜ (60秒) → 流動化コンクリート物性測定・供試体作製の順とした。使用したミキサは, 強制攪拌型ミキサ (容量50ℓ) である。

フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの試験項目及び試験方法を以下に示す。

a. フレッシュコンクリート

- ・スランプ ; JIS A 1101
- ・空気量 ; JIS A 1128
- ・単位容積重量; JIS A 1116

b. 硬化コンクリート

- ・圧縮強度 ; JIS A 1108,
- ・凍結融解性; ASTM C 666 (急速水中凍結融解試験)
- ・気泡間隔係数, 空気量; ASTM C 457 (修正ポイントカウント法)

3. 実験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状と混和剤添加率

フレッシュコンクリートのスランプ・空気量の測定結果は, 図-1 a., b. の範囲であった。

図-1 c. ~ e. は, 使用した混和剤の添加率を示したものである。高性能減水剤の使用量は, シリカフュームの有無によって平均的には約 0.2% (対結合材量比) の相違があり, これは, 有意水準1%で有意な差と判定された。AE助剤及び高性能減水剤の添加率については, シリカフュームの使用に影響なく, ほぼ同様の値であった。

また, ベースコンクリートと流動化コンクリートのスランプの差は約 8cm であり, スランプ 2 cm の増加に対し, 対結合材量比で約 0.1% の高性能減水剤の使用が必要であった。この値は, 通常, 流動化コンクリートとする場合の流動化剤使用量とほぼ同様である。

(2) 圧縮強度に及ぼす要因効果

図-2 は圧縮強度 (材令 14, 28日) に及ぼす骨材の種類, 含水率及びシリカフュームの添加率の効果を示したものである。

骨材の種類 (形状) が圧縮強度に及ぼす影響については, 材令28日で, 非造粒型のものがやや低い傾向にあるが, その差は有意なものではなかった (有意水準5%)。また, 骨材の含水率が圧縮強度に与える効果についても含水率が大きくなるにつれて圧縮強度は低くなる傾向にあるが, その差は有意なものとは判

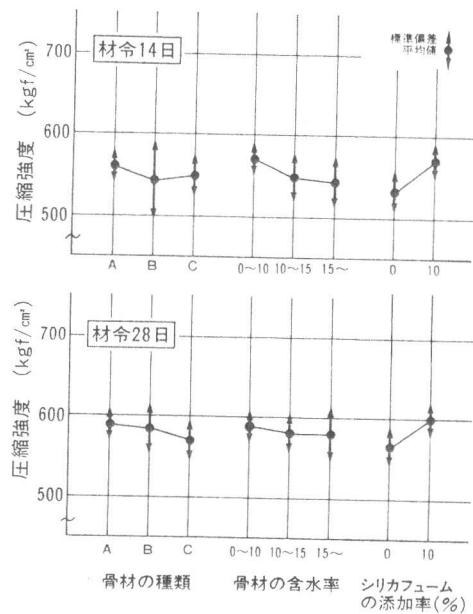


図-2 圧縮強度に及ぼす要因効果

定されなかった（有意水準5%）。

シリカフュームの使用が圧縮強度に及ぼす影響に関しては、これまでも報告されているとおり⁽¹⁾，シリカフュームの使用によって圧縮強度の増加が認められた。シリカフュームを用いない場合に比べシリカフュームを10%添加することによって，材令14,28日における圧縮強度はそれぞれ約7%,6%増加する結果が示され，この効果は，有意水準1%で有意なものと判定された。

(3) 凍結融解試験結果（相対動弾性係数の経時変化）

図-3～5は，骨材の種類別に相対動弾性係数の経時変化を示したものである。これらの結果によれば骨材の種類の違いにかかわらず，相対動弾性係数の経時変化は，a. 使用した軽量骨材の含水率，b. シリカフュームの添加の有無，によって大きく異なることが示されている。

a. 軽量骨材の含水率の影響について

含水率が小さくなるにつれて，耐凍結融解性が向上する傾向は明らかであり，これは骨材の種類及びシリカフュームの有無に関係なく認められる。ただし，相対動弾性係数の低下がほとんどない結果（300サイクルで相対動弾性係数が90%以上）を得るための含水率は，本試験の範囲では以下のとおりであり，

- A骨材；10.0%（シリカフューム添加）
- 6.2%（シリカフューム添加せず）
- B骨材；16.6%（シリカフューム添加）
- C骨材；11.4%（シリカフューム添加の有無に関係なく）

骨材の種類・シリカフュームの有無によって異なる結果が示された。

b. シリカフュームの添加の影響について

図-3～5によれば，骨材の種類に関係なくシリカフュームの添加によって相対動弾性係数の低下を抑制できる結果が得られた。ただし，この効果の程度は，軽量骨材の含水率によって異なることが示されている。すなわち，相対動弾性係数の低下に対し，含水率の影響が支配的な場合（低吸水性骨材を使用し，シリカフュームを用いなくとも十分な耐凍結融解性を示す場合あるいは含水率が25%程度の高吸水骨材を使用した場合⁽¹⁾など）以外において，シリカフュームの添加による軽量コンクリートの耐凍結融解性の改善が顕著に認められた。

(4) 耐久性指数

a. 硬化コンクリートの空気量と耐久性指数

図-6に硬化コンクリートの空気量と耐久性指数との関係を示す。

図-6に示すとおり，空気量の変動が耐久性指数に与える影響は，明確には認められなかった。これは，今回の試験条件の範囲では軽量骨材の含水率及びシリカフュームの有無が耐凍結融解性に支配的な影響を及ぼしたためと考えら

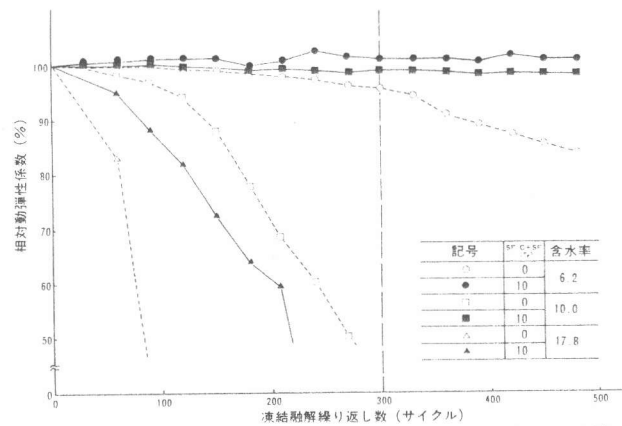


図-3 相対動弾性係数の経時変化（A骨材）

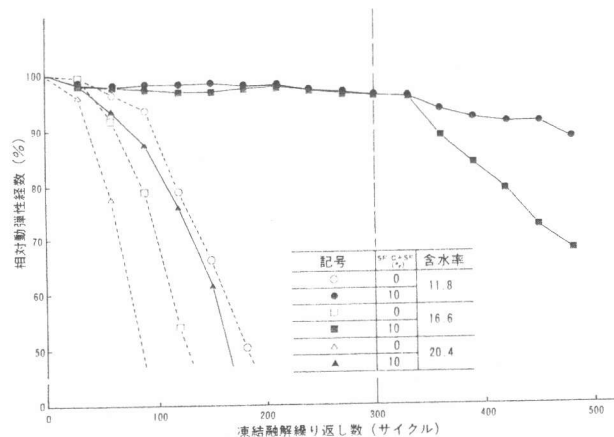


図-4 相対動弾性係数の経時変化（B骨材）

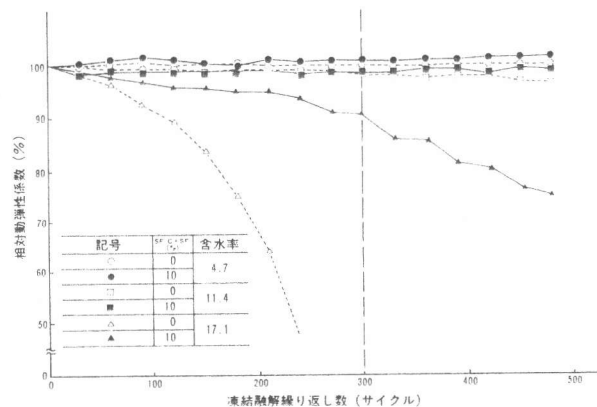


図-5 相対動弾性係数の経時変化（C骨材）

れる。

b. 気泡間隔係数と耐久性指数

図-7は、気泡間隔係数と耐久性指数との関係を示したものである。今回の測定結果では気泡間隔係数は、約 200 ~ 350 μm であったが、この範囲では気泡間隔係数の値が耐久性指数に及ぼす影響は認められなかった。一般のコンクリートでは、気泡間隔係数と耐凍結融解性との間には、密接な関係があるとされており、低吸水軽量骨材・シリカフュームを使用した場合の両者の関係については、さらに検討が必要と思われる。

c. 軽量骨材の含水率と耐久性指数

図-8に、軽量骨材の含水率と耐久性指数との関係を示す。

含水率が5%程度の低吸水骨材を使用した場合には、シリカフュームの有無にかかわらず、耐久性指数はほぼ100%であり、骨材によっては、10%程度においてもほとんど劣化しないものもみられた(C骨材)。これに対し、含水率が20%程度、あるいはそれを超えると、シリカフュームを用いても耐久性指数は60%以下に低下する結果が得られた。

シリカフューム添加による耐久性指数の向上効果は、軽量骨材の含水率が約10~17%の場合に顕著であり、シリカフュームの添加によって、各骨材について以下の結果を得た。

- A骨材：含水率が10%の時、耐久性指数が48→99%
- B骨材：含水率が12%の時、耐久性指数が33→96%
- 含水率が17%の時、耐久性指数が24→96%
- C骨材：含水率が17%の時、耐久性指数が45→91%

先にも述べたとおり、耐凍結融解性に対する軽量骨材の含水率の影響、シリカフュームの効果は使用する軽量骨材の種類によって異なるが、これは骨材自体の特性(組織の緻密さ、内部気泡の径・分布等)の差によるものと考えられる。

4. ま と め

高い品質が要求される海洋コンクリートへの利用を目標に低吸水の軽量骨材、シリカフュームを用いた高強度軽量コンクリート(設計基準強度 500kgf/cm²程度)の物性試験を行った。結果の概要をまとめると以下のとおりである。

- i) シリカフュームの添加は強度向上に有効である(対結合材量比で10%の添加により、材令14,28日における圧縮強度は約6~7%増加した)。
- ii) 耐凍結融解性は、使用する軽量骨材の含水率によって大きく異なり、空気量・気泡間隔係数の影響は特に認められなかった。また、軽量骨材の含水率が約10~17%の場合において、シリカフュームの添加による耐凍結融解性の向上が顕著に認められた。
- iii) 耐凍結融解性に対する軽量骨材の含水率の影響の程度及びシリカフューム添加による効果の程度は、使用する骨材の種類によって異なることが明らかとなった。

<参考文献> (1) 田沢ら、「シリカフュームを用いた高強度人工軽量骨材コンクリートの基本特性」、第6回コンクリート工学年次講演会、1984

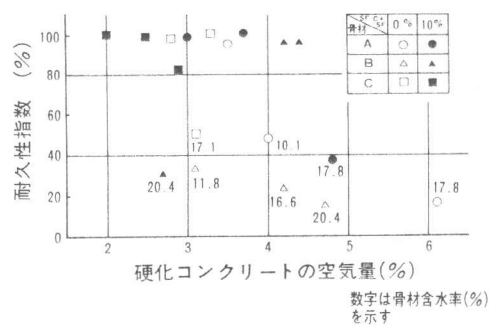


図-6 空気量と耐久性指数

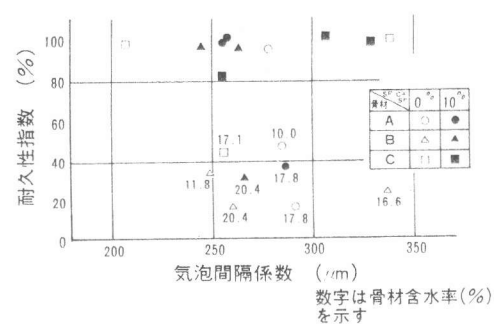


図-7 気泡間隔係数と耐久性指数

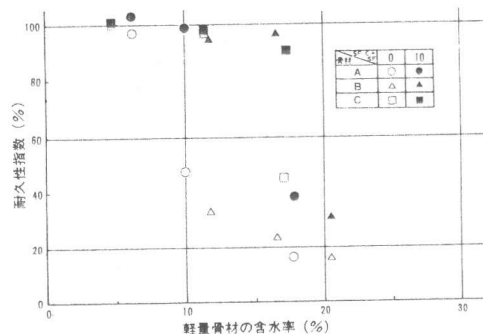


図-8 軽量骨材の含水率と耐久性指数